

## 50. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium

September, 19-23, 2005

**Maschinenbau  
von Makro bis Nano /  
Mechanical Engineering  
from Macro to Nano**

**Proceedings**

Fakultät für Maschinenbau /  
Faculty of Mechanical Engineering

Startseite / Index:

<http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=15745>

## Impressum

Herausgeber:	Der Rektor der Technischen Universität Ilmenau Univ.-Prof. Dr. rer. nat. habil. Peter Scharff
Redaktion:	Referat Marketing und Studentische Angelegenheiten Andrea Schneider  Fakultät für Maschinenbau Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Kurtz, Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. med. (habil.) Hartmut Witte, Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Linß, Dr.-Ing. Beate Schlütter, Dipl.-Biol. Danja Voges, Dipl.-Ing. Jörg Mämpel, Dipl.-Ing. Susanne Töpfer, Dipl.-Ing. Silke Stauche
Redaktionsschluss: (CD-Rom-Ausgabe)	31. August 2005
Technische Realisierung: (CD-Rom-Ausgabe)	Institut für Medientechnik an der TU Ilmenau Dipl.-Ing. Christian Weigel Dipl.-Ing. Helge Drumm Dipl.-Ing. Marco Albrecht
Technische Realisierung: (Online-Ausgabe)	Universitätsbibliothek Ilmenau <a href="#">ilmedia</a> Postfach 10 05 65 98684 Ilmenau
Verlag:	 Verlag ISLE, Betriebsstätte des ISLE e.V. Werner-von-Siemens-Str. 16 98693 Ilmenau

© Technische Universität Ilmenau (Thür.) 2005

Diese Publikationen und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt.

ISBN (Druckausgabe):	3-932633-98-9	(978-3-932633-98-0)
ISBN (CD-Rom-Ausgabe):	3-932633-99-7	(978-3-932633-99-7)

Startseite / Index:

<http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=15745>

**W. Ernst Eder**

## **Konstruktionsmethodik - Ein Werk in Entwicklung**

### **ABSTRACT**

An Fallstudien wird gezeigt, dass Konstruktionsmethodik in wissenschaftlich basierter Form sowohl für Neukonstruktion als auch für Änderungskonstruktion nützliche Ansätze bietet.

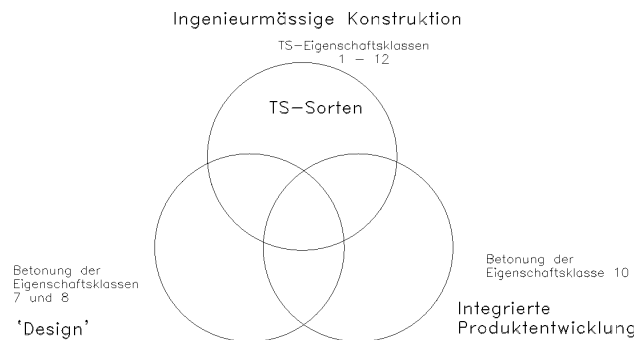
### **EINFÜHRUNG**

Konstruktionsmethodiken (absichtlich Mehrzahl) wurden in den Jahren etwa 1950 bis 1990 in verschiedenen Ländern vorgeschlagen. Typisch sind die Vorgehensmodelle nach Pahl und Beitz [1,2], Roth [3], Koller [4,5], Dietrych [6], Hansen [7,8], Hubka [9,10,11], Eder und Gosling [12], VDI [13], u.s.w. Sie haben nur zum Teil in bestehende Industriezweigen Eingang gefunden [14], wurden aber mit Erfolg in der Ingenieurausbildung eingesetzt.

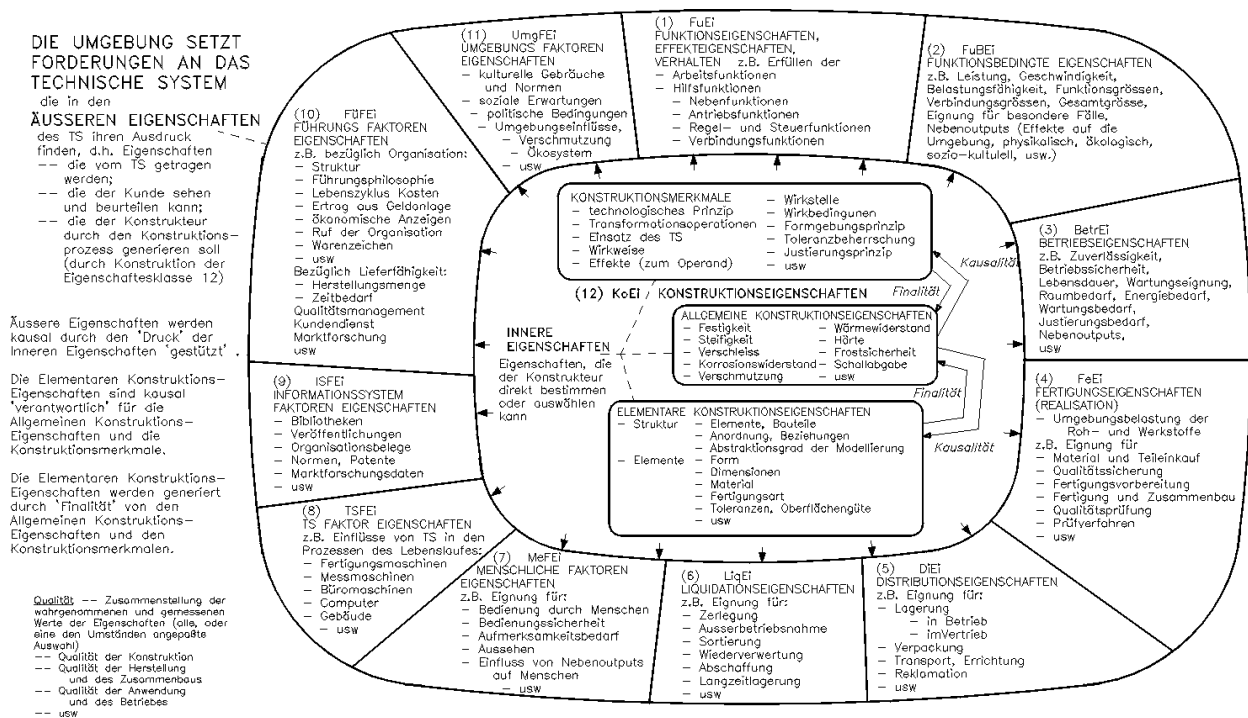
In der Folge wurde die Suche nach Konstruktionsmethodiken zum Großteil vernachlässigt, man nahm an, daß die Entwicklung abgeschlossen war, und keine weiteren Verbesserungen zum Ziel der Rationalisierung der Konstruktionsarbeit beitragen konnten. Kreativität [15] wurde immer mehr betont. Diese Ansicht ist verfrüht. Der Trend nach integrierter Produktentwicklung und 'Design' im Sinne der künstlerischen Beeinflussung des Aussehens und der menschlichen Bedienbarkeit hat auch das Streben nach rationalem Konstruieren nachteilig beeinflusst. Die Entwicklung der Disziplin 'Life-Cycle Engineering' [16] wurde in unabhängiger Art vorwärtsgetrieben.

Die drei Gebiete der ingenieurmässigen Konstruktion, integrierte Produktentwicklung und 'Design' haben einiges gemeinsam, aber jedes Gebiet hat Besonderheiten, wie in Bild 1 angezeigt – die angesprochenen Eigenschaften des technischen Systems bzw. des greifbaren Produktes können in zwölf Klassen verteilt werden, die das Gebiet vollständig überdecken, siehe Bild 2. Integrierte Produktentwicklung tendiert nach Betriebsführung. Der bestehende Unterschied zwischen kunstvollem 'Design' und ingenieurmäßigem Konstruieren [17,18] wird

in letzter Zeit fast vollständig unterschlagen. Diese Unterschiede können anhand einiger Beispiele erläutert werden – es ist anerkannt, daß in vielen Fällen diese drei Disziplinen eng zusammenarbeiten müssen. Die beiden konstruktiven Gebiete können nach Tabelle 1 charakterisiert werden.



**Bild 1 Bereiche der Sorten des Konstruierens**



**Bild 2 Klassen der Eigenschaften technischer Systeme**

## METHODOLOGIE

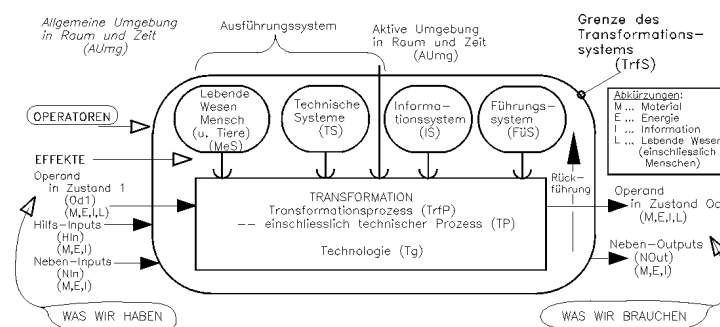
Die Mehrzahl der Methodologien und Vorgehensmodelle [1,2,3,4,5,6,7,8,12,13], zeigen Lücken, die eine konsequente Anwendung erschweren. Es ist auch fast nie aufgezeigt, wie die Methodologie für Variantenkonstruktion oder Änderungskonstruktion angepaßt werden können.

‘Life-Cycle Engineering’ und andere gängige Methoden werden fast nie in Zusammenhang mit der beschriebenen Methodik gebracht.

*Tabelle 1 Charakteristiken des Konstruierens*

Forschungsvorhaben, Konstruktionsbedingungen	Ingenieurmässige Konstruktion	Architektur und ‘Design’
Das zu konstruierende Objekt, oder bestehende (konstruierte) Objekt	Technische Systeme; Zweck: Funktionieren, Ausführen einer Aufgabe	Greifbare Produkte; Zweck: Aussehen, menschliche Funktionsfähigkeit
Darstellung und Analyse des konstruierten Objektes und eingefangene ‘Absicht’ des Konstruierens	Vorbereitung für Herstellung, Zusammenbau, Verteilung, usw., AI, CAD/CAM	Bildliche Darstellung für Vorführung und Ausstellung, Entscheidung über Breite des Produkt Angebotes
Konstruktionsprozess für das Objekt, Methodologie, Herstellung der ‘Absicht’	Theorien der Konstruktion, Konstruktionswissenschaft, formale Konstruktionsmethodik	Intuitives, zusammen- arbeitendes, interactives ‘Design’
Phänomenologie des Konstruierens	Empirisch, Versuche und Durchführungsstudien	Protokol Aufnahme des ‘Design’ Vorgehens
Verantwortung	Professionell, Sicherheit, Zuverlässigkeit, rechtliche Verantwortung, Öffentlichkeit, Organisation, Beteiligten	Zu Organisation und Beteiligten
Standort	Konstruktionsbüro	Studio

Die Entwicklungen aufgrund der Konstruktionswissenschaft [19,20] zeigen klar in welcher Weise die bestehenden Lücken überbrückt werden können. Konstruieren bearbeitet Information [21]. Das grundlegende Modell der Konstruktionswissenschaft betrifft das Transformationssystem, Bild 3. Das Modell sagt aus:



*Bild 3 Allgemeines Modell des Transformationssystems*

- *Ein Operand (Material, Energie, Information und/oder lebende Wesen) in Zustand Od1 wird transformiert zum Zustand Od2 durch Anwendung einer geeigneten Technologie, unter Einfluss der Effekte (Material, Energie und/oder Information) die von den Operatoren (menschliches System, technisches System, aktive Umgebung, Informationssystem, Führungssystem) ausgeübt werden, wobei behilfliche Inputs (M,E,I) benötigt sind, und Nebeninputs und -Outputs (M,E,I) auftreten, sowohl für den Operand als auch für die Operatoren.*

Sobald dieses Modell verstanden wird, kann eine konsequente Methode und Methodik des systematischen Konstruierens vorgeschlagen werden, die die Kreativität unterstützt [15]. Für Neukonstruktion kann der Konstrukteur an vielen Ebenen nach Varianten suchen, nämlich in folgenden Schritten [10,11,19,20]:

- (0) Aufstellen einer Anforderungsliste für das zu konstruierende System vom Gesichtspunkt des Konstrukteurs, durch Umarbeitung der Kundenforderungen in Übereinstimmung mit dem Kunden und der Betriebsführung;
- (1) Bestimmen des günstigen und geforderten Output der Transformation (Operand in Zustand Od2), der eigentliche Zweck des zu konstruierenden Systems;
- (2) Bestimmen eines geeigneten Transformationsprozesses, der den Operand aus Zustand Od1 in Zustand Od2 verwandeln kann, mit Teiloperationen, mit Untersuchung der möglichen Alternativen, und (wenn notwendig) Bestimmen des geeigneten Inputs (Operand in Zustand Od1).
- (3) Entscheiden, welche der Operationen in diesem Transformationsprozess vom Menschen ausgeführt werden soll, und welche vom technischen System, allein oder in Zusammenarbeit;
- (4) Entscheiden, welche technische Systeme (TS, oder deren Teile) zu dieser Zeit konstruiert werden sollte (sie sind noch nicht vorhanden);
- (5) Bestimmen einer Technologie (mit Alternativen) für diese Transformations-Operation, und daher welche Effekte (als Output des TS) das TS liefern muss (als Aktion oder als Reaktion zum Vorhandensein des Operanden) um die Operation durchzuführen;
- (6) Bestimmen, welche Fähigkeiten das TS haben muss (interne und grenzüberschreitende Funktionen), um diese Effekte zu liefern, und welche TS-Inputs erforderlich sind – die bekannte Funktionsstruktur, mit verbesserter Definition und Formulierung, abgeleitet aus den Schritten (1) bis (5);
- (7) Bestimmen, welche Organe (Funktionsträger im Prinzip, mit verbesserter Definition und Formulierung, und Suche nach Alternativen) diese Funktionen ausführen können, und

welche hervorgerufenen Funktionen (und Organe) erkennbar sind – eine Funktions-Mittel Kette. Die morphologische Matrix ist geeignet, diese Untersuchung durchzuführen, und die Organe in geeigneter Anordnung zu Organstrukturen (den bekannten Prinzipskizzen, mit verbesserter Definition und Formulierung) zusammenzustellen. Organe werden in Erfahrung gefunden, besonders in den Maschinenelementen, aber mit erweiterter Reichweite [22];

- (8) Bestimmen, welche Bauteile benötigt sind (in Vorentwurf, Hauptentwurf, Detail- und Zusammenstellungszeichnungen, mit möglichen Alternativen), und welche zusätzliche Funktionen (und Organe und Bauteile) hervorgerufen sind (eine erweiterte Funktions-Mittel Kette), damit eine vollständige Beschreibung des zukünftigen TS dargestellt wird, in kürzester Zeit und mit niedrigsten Kosten.

Die angedeuteten Verbesserungen der Definitionen und Formulierungen sind zum Teil in [19,20] veröffentlicht, aber dieser Prozess der Verbesserung findet dauernd statt, besonders in Zusammenarbeit der Autoren von [19,20,21]. Nur jene Teile dieses Konstruktionsprozesses werden angewandt, die zum Ziel beitragen. Auswahlmethoden wie die Galeriemethode sind vorhanden. Umkonstruktion kann mit folgenden Schritten durchgeführt werden:

- (a) Aufstellen einer Anforderungsliste für das zu ändernde System, wie Schritt (0);
- (b) Analyse des bestehenden Systems zum Erkennen der Organe und (wenn notwendig) der Funktionen, eine Umkehrung des Vorgehens der Schritte (7) und (6);
- (c) Anwendung der letzten Teile des Vorgehens, wie oben.

Betrachtungen über 'Life-Cycle Engineering' sind schon grossteils in dieser Methodologie eingebaut, einschliesslich Wissen und Hinweise, die im Bereich von 'Design for X' vorliegen.

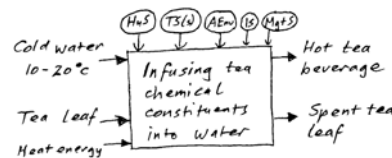
Weder Neukonstruktion noch Umkonstruktion können in einem linearen Vorgehen erreicht werden. 'Feedback' (Informationsrückführung), Iteration (Wiederholung der Operation mit verbessertem Verständnis des Problems) und Rekursion (Aufteilung des Problems in kleinere Abschnitte, Lösen, und Wiedervereinigen) sind immer notwendig. Die Möglichkeit der Suche nach Alternativen wird in allen Schritten angeboten – ist die Ausnutzung dieser Feststellung das nicht das Merkmal der Kreativität? Analyse und Simulation mit Hilfe der Ingenieurwissenschaften kann in jedem Schritt angesetzt werden, von Überschlagsrechnung für erste Bestimmung der Grössen, durch statische Betrachtungen für genauere Vorbestimmung dieser Grössen, bis zu voller dynamischer Simulationen zum Verifizieren der voraussichtlichen Tauglichkeit der Bauteile für die vorgesehenen Aufgaben. Jeder Schritt beinhaltet, und soll abschliessen, mit einem Zyklus der Prüfung, einschliesslich Schlagworte wie 'Begründen',

‘Bewerten’, ‘Auswählen’, ‘Entscheiden’, ‘Verbessern’, ‘Optimieren’, ‘Verifizieren’, ‘Nachprüfen’, und ‘Nachdenken’ (Reflektieren).

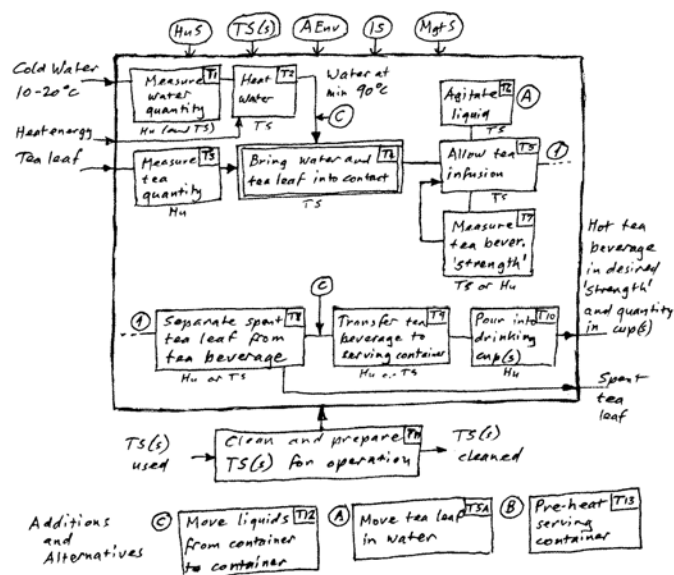
## FALLSTUDIEN

An zwei Fallstudien wird gezeigt, daß sowohl für Neukonstruktion als auch für Änderungskonstruktion durch die oben skizzierte verbesserte Methodik einerseits das Lösungsfeld erweitert werden kann, andererseits auch sowohl die Dokumentation als auch die Zusammenarbeit mit den ‘Design’ Künstlern erleichtert wird.

Die erste dieser Fallstudien betrifft eine Teemaschine. Eine frühere Veröffentlichung [23] zeigte einige Aspekte dieser Entwicklung, aber in eher intuitivem Vorgehen. Folgend sind Bilder und Erklärungen, die der vollen systematischen Methodik gehorchen. Schritt (0) wird hier wegen Platzmangel nicht angesprochen. Schritte (1), (2), (3) und (4) sind in Bildern 4 und 5 zusammengefasst. Daraus kann das Resultat für Schritte (5) und (6) abgeleitet werden, wie in Bild 6 gezeigt, eine Art der bekannten Funktionsstruktur. Bild 7 zeigt den ersten Teil einer morphologische Matrix. Kombinationen der Zeilen 1 bis 4 sind in Bild 8 dargestellt, wobei Variante B-1 als günstigste erkannt wurde. Eine vollständigere Organstruktur erscheint wie in Bild 9.



*Bild 4 Teemaschine – Transformationsprozess ‘Black Box’*



*Bild 5 Teemaschine – Transformationsprozess mit Alternativen*



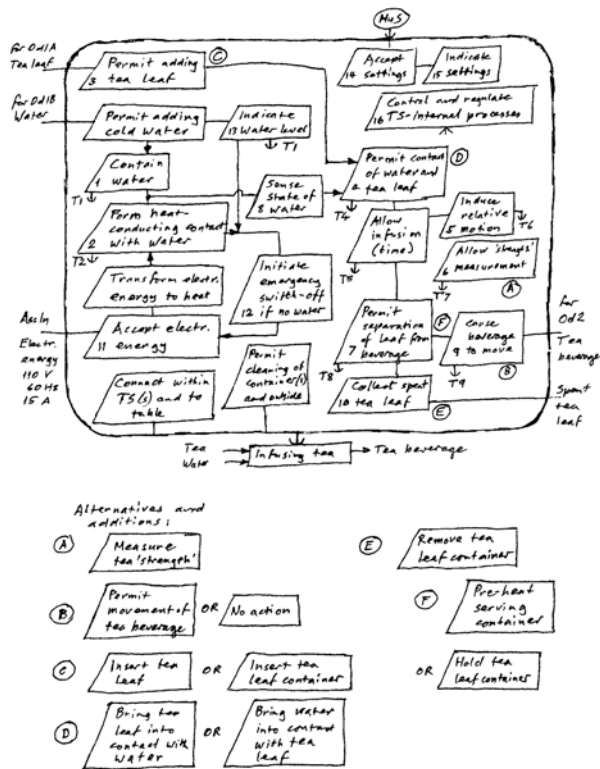


Bild 6 Teemaschine – Funktionsstruktur

Function	No	H... heating	B... brewing	S... serving
Contain water	1	Three H, B, S	Two (may be tube) H+B, S	One H+S, B
Form conduct. contact, heat	2	Static Plate	Fixed coil Movable coil	Plowing Trough
Entry of tea leaf	3	no package loose tea	porous package/container tea bag	wood filter 'egg' spoon
Tea leaf to water	4	stopwise tea to water	continuous water to tea	water through tea
Induce rel. motion	5	none	Motor stirrer Magnet stirrer	circulating pump Natural convection
Measure tea beverage	6	by eye color absolute	electro-optical absolute color	by conductivity (calculated) by gravitation (chemical)
Separate leaf from beverage	7	with porous package tea bag	'egg' spoon filter	allow tea to sink strainer
Sense state of water	8	Temperature water	Steam med. part	pressure others
Mix beverage to serving cont.	9	tube	steam pressure ignition	others pump
Collect spent tea leaf	10	none	ladle	none

Bild 7 Teemaschine – morphologische Matrix

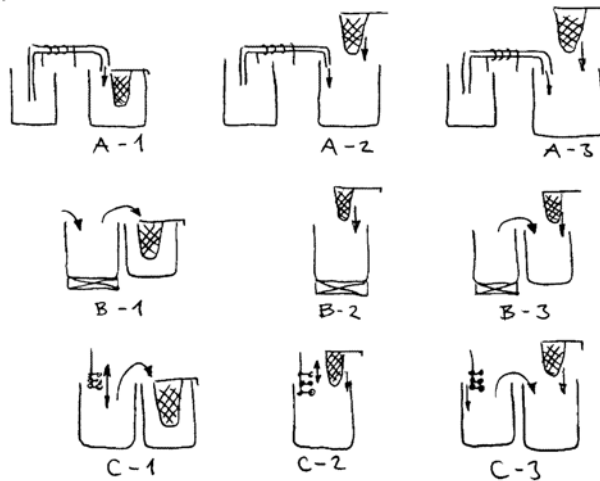


Bild 8 Teemaschine – Funktionen 1 bis 4 [23]

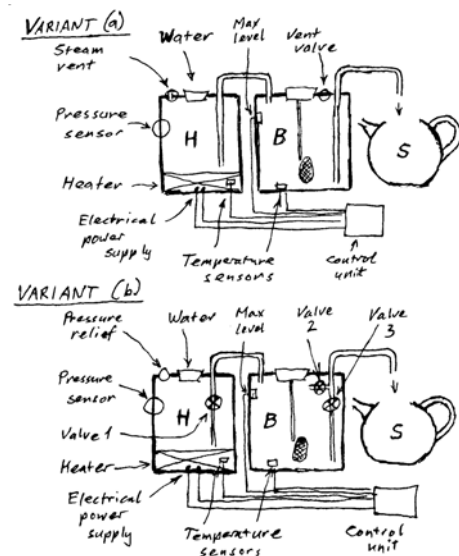


Bild 9 Teemaschine – Organstruktur

Die zweite Fallstudie betrifft die Umkonstruktion eines Wasserventils, mit dem Ziel, die Bauhöhe möglichst zu vermindern, und Änderung der Höhe im Gebrauch zu vermeiden. Wiederum wird Schritt (0) bzw. (a) nicht angesprochen. Bild 10 zeigt das Ventil wie es im Marktangebot erscheint. Bild 11 zeigt einen Transformationsprozess in 'Black Box' Format, obwohl dies nicht unbedingt notwendig ist für diese Aufgabe und Vorgehensweise. Schritt (b)

wird durch Analyse durchgeführt, Bild 12 zeigt die analysierte Organstruktur für das bestehende Ventil. Die daraus abgeleitete, und für die neue Aufgabe geänderte Funktionsstruktur zeigt Bild 13. Schritt (c) kann nun eingeleitet werden, mit der morphologischen Matrix in Bild 14. Kombinationen und Anordnungen der Organe sind in Bild 15 dargestellt. Bild 16 zeigt einen Vorschlag für die Baustruktur des geänderten Ventils.

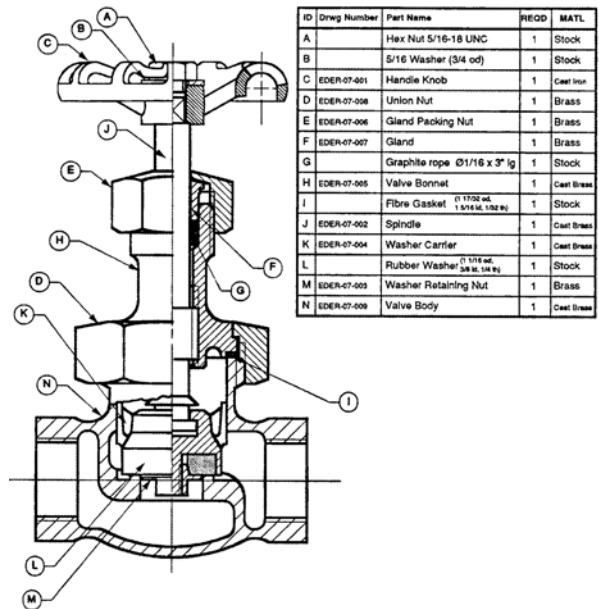


Bild 10 Wasserventil – Vorgegebene Baustruktur

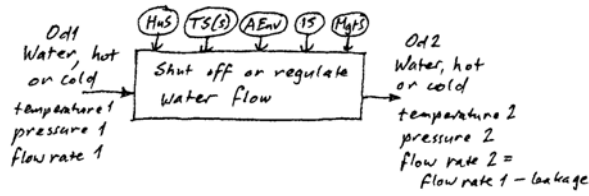


Bild 11 Wasserventil – Transformationsprozess 'Black Box'

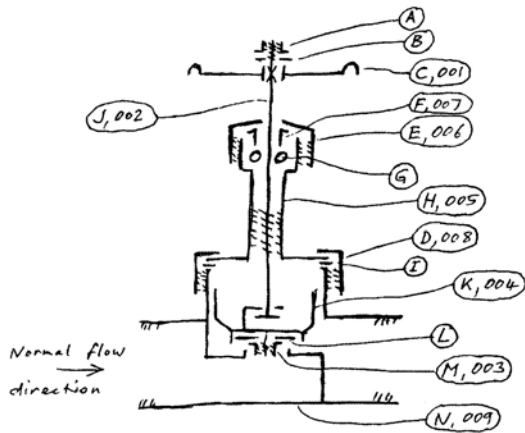


Bild 12 Wasserventil – Analysierte Organstruktur

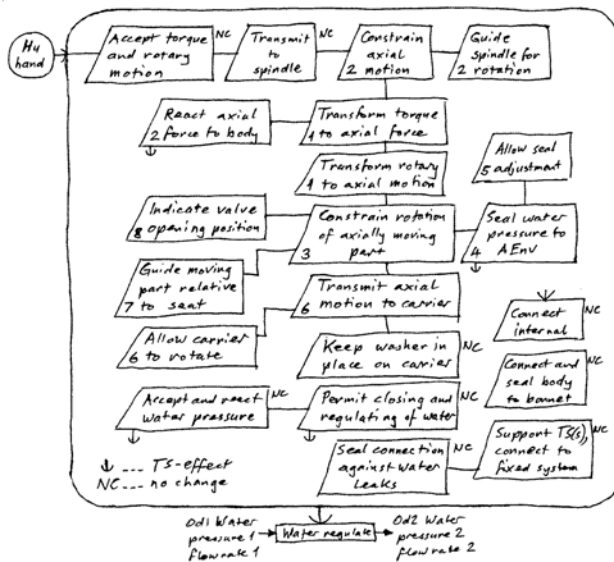


Bild 13 Wasserventil – Funktionsstruktur

Function	Principles and Organs				
1 Transform torque to force, rotary to axial		Rotate male thread		Rotate female thread	
2 Constrain axial m. Guide spindle		Guide and ring on spindle		Double guide or groove	
3 Constrain rotation of moving part	Positive form closure	Friction	No action		
4 Seal water pressure to AEnv	Compress rope	O-ring	U-ring	X-ring	Other ring sections
5 Allow seal adjustment	Gland and nut		Flange gland	None, allow easy replacement	
6 Transmit axial force to carrier	None, carrier is moving part in Fu	Permit relative movement to part in Fu	T-end and slot	Ball and socket	Flexible pad
7 Guide moving parts	Relative to spindle	Relative to body	Relative to bonnet	None use Fu	
8 Indicate valve opening	None	Pin rising from bonnet			

Bild 14 Wasserventil – morphologische Matrix

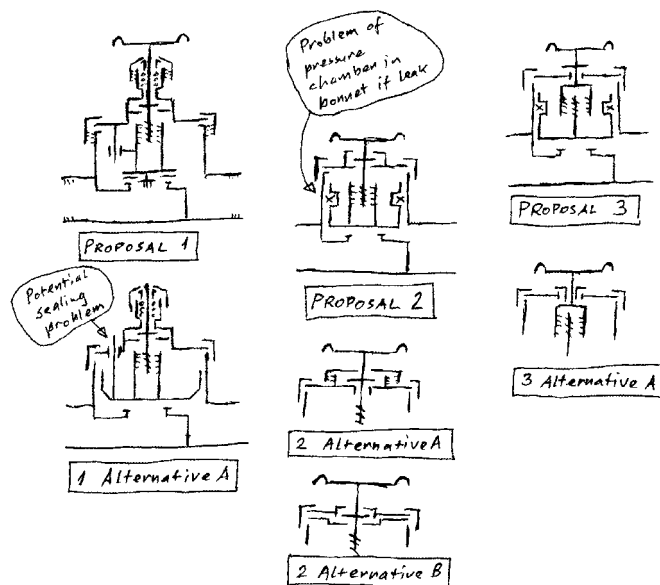


Bild 15 Wasserventil – Organstrukturen

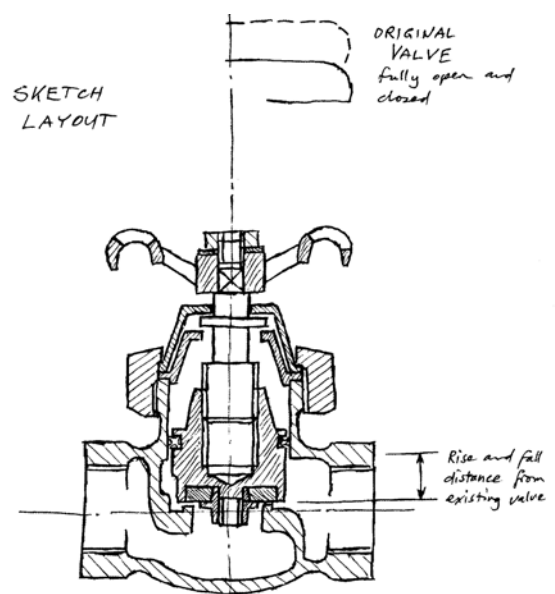


Bild 16 Wasserventil – Neue Baustruktur

## ZUSAMMENFASSUNG

Koordinierung mit 'Design' und Integrierter Produktentwicklung kann zu Verbesserungen des konstruierten Systems beitragen, aber das Vorgehen des ingenieurmässigen Konstruierens nicht ersetzen, Systematisches Vorgehen ist bekanntlich mit grösserem Aufwand an menschlicher Energie verbunden [24]. Jedoch kann durch systematischem Vorgehen das Lösungsfeld weit besser abgesucht werden. Dazu ist eine vollständigere Methodik nützlich. Eine solche Methodik wurde kurz vorgestellt, und mit zwei Fallstudien belegt.

### Literatur- bzw. Quellenhinweise:

- [1] Pahl, G., & Beitz, W. (1995) **Engineering Design** (2 ed.), London: Springer-Verlag (1 ed 1984) (Edited and translated by K. Wallace, L. Blessing and F. Bauert), translated from 1993-3rd ed
- [2] Pahl, G., & Beitz, W. (1997) **Konstruktionslehre, Methoden und Anwendungen**, (4 ed.) Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag (1 ed. 1977, 2 ed 1988, 3 ed 1993)
- [3] Roth, K. (1995) **Konstruieren mit Konstruktionskatalogen** (2 ed. 2 vols.) (Designing with Design Catalogs), Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag (1 ed 1982)
- [4] Koller, R. (1979) **Konstruktionsmethode für Maschinen-, Geräte- und Apparatebau** (Design Method for Machine, Device and Apparatus Construction), Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag
- [5] Koller, R. (1985) **Konstruktionslehre für den Maschinenbau** (Study of Designing for Mechanical Engineering, 2. ed.), Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag
- [6] Hubka, V. (ed.) (1982a) **WDK 9: Dietrich zum Konstruieren** (Dietrich about Designing), Zürich: Heurista
- [7] Hansen, F. (1966) **Konstruktionssystematik** (Design Systematics) (2. ed.), Berlin: VEB Verl. Technik
- [8] Hansen, F. (1974) **Konstruktionswissenschaft – Grundlagen und Methoden** (Design Science – Basis and Methods), München: Carl Hanser
- [9] Hubka, V. (1967) 'Der grundlegende Algorithmus für die Lösung von Konstruktionsaufgaben' (Fundamental Algorithm for the Solution of Design Problems) in **XII. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium der Technischen Hochschule Ilmenau, Heft 12** Sektion L - Konstruktion, Ilmenau: T.H.I., p. 69-74
- [10] Hubka, V. (1980) **WDK 1: Allgemeines Vorgehensmodell des Konstruierens**, Goldach: Fachpresse.
- [11] Hubka, V. (1992) **Engineering Design**, Zürich: Heurista
- [12] Eder, W.E., and Gosling, W. (1965) **Mechanical Systems Design**, Commonwealth and International Library # 308, Pergamon Press, Oxford
- [13] – VDI (1985) VDI Richtlinie 2221: **Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte** (Methodology for Developing and Designing Technical Systems and Products), Düsseldorf: VDI
- [14] Eder, W.E. (1998) 'Design Modeling -- a Design Science Approach (and Why Does Industry Not Use It?)', **Journal of Engineering Design**, Vol 9, No 4, pp 355-371
- [15] Eder, W.E. (ed) (1996) **WDK 24 – EDC – Engineering Design and Creativity – Proceedings of the Workshop EDC**, Pilsen, Czech Republic, November 1995 Zürich: Heurista
- [16] Eder, W.E. (2001) 'Designing and Life Cycle Engineering - A Systematic Approach to Designing', Proc. Inst. Mech. Eng. (UK), Part B, *Jnl. of Engineering Manufacture*, Vol 215, No B5, 2001, p. 657-672
- [17] Eder, W.E., (1995) 'Engineering Design – Art, Science and Relationships', *Design Studies*, **16**, p. 117-127
- [18] Eder, W.E. (2003) 'A Typology of Designs and Designing', in **DS 31 – Proc. ICED 03 Stockholm**, p. 251-252 (Executive Summary), full paper number 1004 on CD-ROM, The Design Society
- [19] Hubka, V. and Eder, W.E. (1992) **Einführung in die Konstruktionswissenschaft** (Introduction to Design Science), Berlin, Springer-Verlag
- [20] Hubka, V., & Eder, W.E. (1996) **Design Science: Introduction to the Needs, Scope and Organization of Engineering Design Knowledge**, London: Springer-Verlag, <http://deed.rverson.ca/DesignScience/>
- [21] Eder, W.E. and Hosnedl, S. (2004) 'Information – a Taxonomy and Interpretation', in **Proc. International Design Conference - Design 2004**, Dubrovnik, May 18 - 21, 2004, p. 169-176.
- [22] Eder, W.E., (2004) 'Machine Elements – Integration Of Some Proposals', **Proc. AEDS 2004 Workshop**, The Design Society – Special Interest Group Applied Engineering Design Science, 11-12 Nov 2004, Pilsen, Czech Republic, on CD-ROM
- [23] Hubka, V., Andreasen, M.M. & Eder, W.E. (1988) **Practical Studies in Systematic Design**, London: Butterworths
- [24] Müller, J. (1990) **Arbeitsmethoden der Technikwissenschaften – Systematik, Heuristik, Kreativität** (Working Methods of Engineering Sciences, systematics, heuristics, creativity), Berlin: Springer-Verlag

### Autorenangabe:

Professor W. Ernst Eder (in Ruhestand)  
107 Rideau Street,  
Kingston, ON  
Canada K7K 7B2  
Tel.: x-1-613-547-5872  
Fax: x-1-613-547-5872  
E-mail: [eder-e@rmc.ca](mailto:eder-e@rmc.ca)